

УДК 004.942

Ю. Б. ПОПОВА, А. И. БУРАКОВСКИЙ

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

*Белорусский национальный технический университет*

Использование информационных технологий и, в частности, информационных обучающих систем увеличивает возможности как преподавателя, так и обучаемого, в достижении своих целей в образовательном процессе, учитывая индивидуальные характеристики каждого и предоставляя возможности непрерывного образования. Несмотря на большое количество исследований в этой области и очевидные преимущества таких систем, их использование пока ограничено. Одной из главных причин здесь является использование точных количественных методов в такой сложно-структурированной и нечеткой области как учебный процесс. При проектировании информационных обучающих систем разработчики сталкиваются с проблемой моделирования знаний, которые условно могут быть разделены на две категории: предметные и персональные. Предметные знания определяются программой обучения и представляют знания эксперта (преподавателя) о составе и структуре учебного предмета. Персональные знания позволяют определить степень изученного материала обучаемым. Эти знания динамичные, изменяются в процессе обучения и предназначены для адаптации информационных обучающих систем к конкретному обучаемому. В настоящее время существует большое количество моделей представления знаний, среди которых наиболее используемыми являются логические, продукционные, сетевые, фреймовые и математические. Главными преимуществами математической модели являются точность, работа с абстракциями, передача информации логически однозначным способом. Математическая модель представления знаний на основе теории нечетких множеств позволяет, в отличие от остальных, учесть семантическую неопределенность оценивания экспертом (преподавателем) степень подготовки обучаемого.

**Ключевые слова:** знания, информационные обучающие системы, математическая модель, нечеткие множества.

**Введение.** В настоящее время система образования активно развивается за счет внедрения информационных технологий, которые позволяют повысить доступность образования и его качество. Новые технологии предоставляют преподавателю и студенту более широкие (по сравнению с традиционным обучением) возможности в преподавании и изучении дисциплин. Информационные обучающие системы (ИОС), реализуя комплекс программно-технических и учебно-методических средств, позволяют автоматизировать процесс обучения, а также выстроить для каждого обучаемого персональную траекторию изучения материала, независимо от того, где территориально находится обучающий [1].

Базой для проектирования ИОС являются работы Брусиловского П. Л., Савельева А. Я., D. Callear [2–5] и многих других. Однако, несмотря на большое количество исследований, существует ряд причин, по которым использо-

вание ИОС в учебных заведениях ограничено. Среди главных причин можно выделить следующие:

- ИОС покрывают лишь некоторое количество действий из всего учебного процесса;
- ИОС обладают низкой степенью адаптации к индивидуальным способностям обучаемых.

Указанные выше причины, как правило, вызваны использованием точных количественных методов в такой сложно-структурированной и нечеткой области, как учебный процесс. Использование точных методов не позволяет учесть лингвистическую неопределенность, неточность категорий логики, а также субъективизм эксперта, что в свою очередь накладывает ограничения на качественное отображение знаний преподавателя в ИОС. В связи с этим можно утверждать, что задача разработки средств представления знаний в ИОС, учитывающей их семантическую неоднознач-

ность, является актуальной для достижения цели реализации адаптивной обучающей системы, способной самостоятельно определять текущий уровень знаний студента и адаптировать маршрут обучения в зависимости от этого параметра.

**1. Знания в информационных обучающих системах.** Понятие «знание» по своей сути является очень обширным и многозначным. Например, в работе [6] к *знаниям* относят информацию о логике решения задач, а к *данным* – информацию, которая должна быть проанализирована в соответствии с этой логикой. Также в [6] выделены специфические признаки, отличающие знания от данных:

- внутренняя интерпретируемость, означающая, что в знаниях находится информация, раскрывающая смысл элементов знаний;
- структурированность знаний, заключающаяся в возможности декомпозиции сложных объектов на более простые и установлении соответствующих связей между ними;
- связность знаний, отражающая причинно-следственные и временные отношения между фактами, процессами и явлениями;
- активность знаний, содержащая планы действий и управляющие процедуры.

В свою очередь знания можно разделить на два вида: формализованные (явные) и неформализованные (неявные). Формализованные знания могут быть представлены в виде строгих, конкретных и четких умозаключений (формул, моделей, законов). Их можно записать, запомнить, передать устно. Также формализованному знанию можно научиться самостоятельно, следуя четким правилам. Например, для вычисления дискриминанта квадратного уравнения нужны знания формулы дискриминанта, т. е. запомнив формулу дискриминанта и применив ее в реальной жизни, можно утверждать о знании дискриминанта квадратного уравнения.

Понятие неформализованных (неявных) знаний было впервые предложено Марком Полани в [7]. Эти знания появляются только как результат тренировок под руководством инструктора и являются результатом обучения или личного опыта. Любые, сколь угодно ясно сформулированные правила сами по себе не помогут этому научиться [8].

До недавнего момента считалось, что информационные обучающие системы не при-

способлены определять уровень неформализованных знаний. Развитие компьютерных систем, широкие исследования в области моделей представления знаний, разработка и внедрение ИОС показали, что определение уровня неформализованных знаний представляет собой достаточно сложную задачу и является одним из сдерживающих факторов широкого применения ИОС в учебном процессе.

**2. Модели представления знаний в обучающих системах.** В ИОС в качестве источника знаний используются базы знаний. Однако в очень многих ИОС база знаний представляет собой простой набор теоретического материала, формул, графиков и т. д. Примеров баз знаний с позиции термина «база знаний» искусственного интеллекта практически нет. Связано это, прежде всего, с нерешенностью вопроса представления знаний. Суть проблемы заключается в том, что необходимо создать и описать некую модель хранения знаний, с которой могли бы взаимодействовать остальные компоненты ИОС наподобие человеческого интеллекта. Механизм взаимодействия компонентов ИОС с базой знаний строится на основании выбранной модели представления знаний. Таким образом, можно утверждать, что выбор модели представления знаний является ключевым фактором при построении информационных обучающих систем.

На данный момент существует огромное количество моделей, позволяющих представлять знания в ИОС. Все они имеют свои достоинства и недостатки. Выбор модели представления знаний зачастую зависит от предметной области. Условно все модели можно разделить на следующие группы [6]: логические, продукционные, сетевые, фреймовые, математические.

В основе *логической модели* лежит тот факт, что вся информация, которая требуется для решения прикладной задачи, рассматривается как совокупность фактов и утверждений, представленных формулами в некоторой логике [6]. Достоинством логических моделей является то, что модель базируется на классическом аппарате математической логики, методы которой хорошо изучены и обоснованы. Также имеются достаточно эффективные процедуры вывода, база знаний предназначена для хранения большого количества аксиом, из которых по правилам вывода можно получать другие

знания. Основной недостаток: логики, адекватно отражающей человеческое мышление, еще не создано [9].

*Продукционные модели* являются наиболее часто используемыми в представлении знаний. Они основаны на правилах, которые представляют знание как предложение «Если условие истина, то действие». Достоинствами продукционных моделей являются наглядность и высокая модульность (отдельные логические правила могут быть добавлены в базу знаний, изменены или удалены независимо от других) [9]. Модульный принцип разработки систем позволяет автоматизировать их проектирование, обеспечить легкость внесения дополнений и изменений, реализовать простоту логического вывода. Однако продукционная модель обладает одним существенным недостатком: в случае, когда таких продукций накапливается большое количество (больше нескольких сотен), то они могут противоречить друг другу.

*Сетевые модели* основаны на семантической сети, и их формально можно задать в виде  $H = \langle I, C_1, C_2, \dots, C_n, G \rangle$ , где  $I$  – множество информационных единиц,  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – множество типов связей между информационными единицами,  $G$  – связи из заданного набора типов связей, входящих в  $I$  [6]. В работе [9] приводятся следующие достоинства и недостатки сетевой модели.

Достоинства:

- описание объектов и событий производится на уровне очень близком к естественному языку;
- обеспечивается возможность соединения различных фрагментов сети;
- отношения между понятиями и событиями образуют небольшое, хорошо организованное множество;
- для каждой операции над данными или знаниями можно выделить некоторый участок сети, который охватывает необходимые в данном запросе характеристики;
- обеспечивается наглядность системы знаний, представленной графически;
- близость структуры сети, представляющей знания, семантической структуре фраз на естественном языке;
- соответствие сети современным представлениям об организации долговременной памяти человека.

Недостатки:

- сетевая модель не дает ясного представления о структуре предметной области, поэтому формирование и модификация такой модели затруднительны;
- сетевые модели представляют собой пассивные структуры, для обработки которых необходим специальный аппарат формального вывода и планирования.

Основным отличием фреймовой модели от всех остальных является то, что в ней жестко фиксируется структура информационных единиц, называемых протофреймом. В общем виде она выглядит следующим образом:

*(Имя фрейма:*

*Имя слота 1 (значение слота 1)*

*Имя слота 2 (значение слота 2)*

.....

*Имя слота K (значение слота K)).*

При конкретизации фрейма ему и слотам присваиваются конкретные имена и происходит заполнение слотов. Таким образом, из протофреймов получаются фреймы-экземпляры. Переход от исходного протофрейма к фрейму-экземпляру может быть многошаговым за счет постепенного уточнения значений слотов [10]. Авторы работ [9, 11] выделяют следующие достоинства фреймовой модели:

- способность отображать концептуальную основу организации памяти человека;
- универсальность, так как позволяют отобразить все многообразие знаний.

Также в работе [11] приводятся такие достоинства как:

- естественность и наглядность представления, модульность;
- поддержку возможности использования значений слотов по умолчанию.

Из недостатков модели можно выделить следующие [12]:

- высокая сложность фреймовой системы;
- разрозненные части информации, объединенные во фреймы, не могут быть выстроены в последовательность высказываний. Иначе говоря, языки описания знаний во фреймовой модели не являются языками, родственными естественным, а ближе к изобразительным средствам.

Методы построения *математических моделей* часто основаны хотя и на неточной, но в целом объективной информации об объекте

[11]. Однако возможны ситуации, когда при построении моделей решающее значение имеют сведения, полученные от эксперта, обычно качественного характера. Они отражают содержательные особенности изучаемого объекта и формулируются на естественном языке. Описание объекта в таком случае носит нечеткий характер. При использовании для отображения знаний теории нечетких множеств булева алгебра распространена на действительные числа. В булевой алгебре 1 представляет истину, а 0 – ложь. То же имеет место и в нечеткой логике, но кроме того используются также все дроби между 0 и 1, чтобы указать на частичную истинность [13–15]. Так запись « $\mu(\text{высокий}(X)) = 0,75$ » говорит о том, что предположение « $X$  – высокий» в некотором смысле на три четверти истинно, а на одну четверть ложно.

Главными преимуществами математической модели являются точность, работа с абстракциями и передача информации логически однозначным способом.

Точность таких моделей можно проверить, проведя необходимые наблюдения или поставив эксперимент. Также важным плюсом является тот факт, что логика математики позволяет извлекать только те элементы, которые важны для дедуктивной логики рассуждения, исключая все посторонние значения. Недостатком же является сложность математического аппарата. Возникают трудности перевода языка математики на язык реальной жизни.

Зачастую в структуре знаний классы объектов являются нечеткими понятиями. Также лица, излагающие эти знания, могут делать выводы, содержащие элементы неуверенности, либо основанные на опыте. Подобные ситуации заставляют искать новые подходы к описанию знаний и их оцениванию. Одним из новых подходов является переход знаний в классическом понимании к знаниям нечетким. Нечеткие знания можно описать через следующие лингвистические переменные:

$\Theta$  = Отношение принадлежности = {Принадлежит, Скорее всего принадлежит, Вероятно принадлежит, ..., Вероятно не принадлежит, Скорее всего не принадлежит, Не принадлежит};

$\Delta$  = Отношение следования = {Следует, Скорее всего следует, Вероятно следует, ..., Вероятно не следует, Скорее всего не следует, Не следует};

AND/OR = Отношение связи = {И/ИЛИ, Скорее всего И/ИЛИ, Вероятно И/ИЛИ, ...}.

Предполагается, что эти переменные имеют разную степень значения в зависимости от силы принадлежности к тому или иному свойству.

Тогда под нечетким знанием можно понимать следующее.

Если

$$(a_1 \Theta_1 X_1 \Psi_1 a_2 \Theta_2 X_2 \Psi_2 \dots a_n \Theta_n X_n \Psi_n \dots) \\ \Delta a_{n+1} \Theta_{n+1} X_{n+1} \Psi_{n+1},$$

где  $a_i$ ,  $X_i$  – значения лингвистических переменных,  $\Theta_i$  – значение переменной принадлежности из  $\Theta$ ,  $\Psi_i$  – значение переменной связи из AND/OR,  $\Delta$  – терм-значение переменной следования из  $\Delta$ . Поскольку нечеткое знание определяется через лингвистические переменные, то и операции нечеткого логического вывода можно количественно определить на базе операций с соответствующими функциями принадлежности.

В обучающих системах знания условно можно разделить на две категории:

- предметные – знания эксперта (преподавателя) о составе и структуре учебного предмета, которые определяются программой обучения;
- персональные – знания о степени изученности предмета в рамках изучаемого курса обучаемым. Эти знания динамичные, изменяются в процессе обучения и предназначены для адаптации ИОС к конкретному обучающему.

**3. Математическая модель на основе нечетких множеств.** В основе *математической модели* предметных знаний на основе теории нечетких множеств лежит нечеткий ориентированный граф  $\tilde{G} = (E, S, \mu_{\tilde{G}}(e), \mu_{\tilde{G}}(s))$  (рис. 1).

Вершины графа – это множество  $E$  концептов (предметных элементов). Дуги графа отображают отношения  $S \subset E \times E$ , которые характеризуют структуры предметных знаний. Вершины и дуги содержат функции принадлежности нечетких множеств, которые являются представлением эксперта (преподавателя) о предмете. Функции принадлежности задаются экспертом самостоятельно.

Математическая модель персональных знаний на основе теории нечетких множеств имеет явные преимущества в представлении неформализованных знаний по отношению



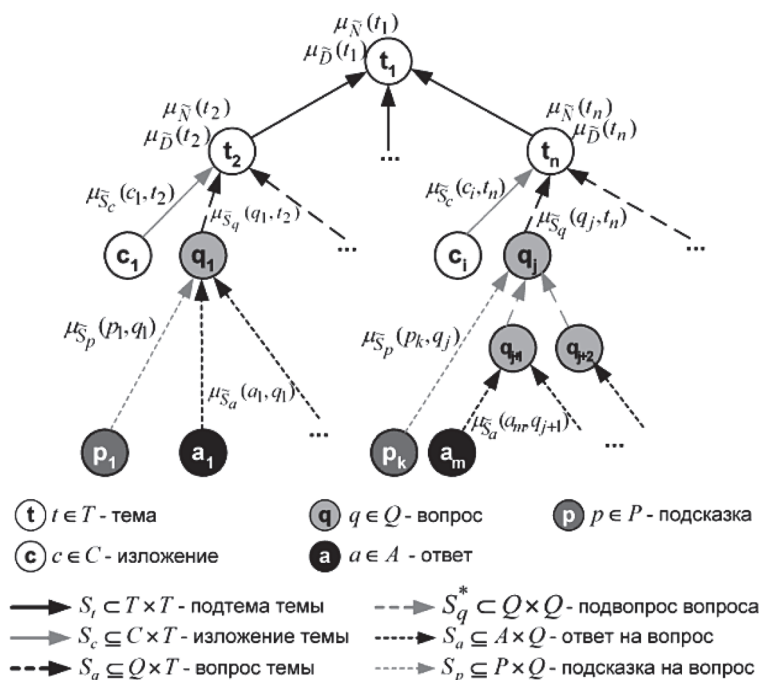


Рис. 1. Математическая модель предметных знаний [16]

к другим. В ее основе лежит нечеткий ориентированный граф  $\tilde{G}' = (E', S', \mu_{\tilde{G}'}(e), \mu_{\tilde{G}'}(s'))$  (рис. 2).

Вершины графа  $G'$  показывают состав уже изученных предметных знаний – подмножество  $E' \subset E$ ; дуги графа  $G'$  являются отражением уже изученных предметных знаний. Дуги графа инициализируются значениями функций принадлежности, которые определяются как результат построения нечетких подмножеств множества  $E$ , и обуславливают друг друга как:

$$A' \sim \xrightarrow{av} \tilde{A}P' \sim \xrightarrow{gr} \tilde{P}, \tilde{Q} = \tilde{A} \setminus \tilde{P}; Q' \sim \xrightarrow{av} \tilde{P}, \tilde{Q} \sim \xrightarrow{gr} \tilde{P},$$

$$\tilde{S}_a \circ S_q^* \quad \tilde{S}_p$$

где  $\tilde{A} \subset Q'$  – нечеткое множество, характеризующее степень знания вопроса;  $\tilde{P} \subset Q'$  – нечеткое множество, характеризующее степень незнания вопроса;  $\tilde{Q} \subset Q'$  – нечеткое множество, отражающее оценку уровня владения вопросом учащимся;  $\tilde{T} \subset T'$  – нечеткое множество, отражающее оценку степени освоения учащимся материала темы;  $\sim \xrightarrow{av}$  обозначение операции индуцирования в average-форме;  $\sim \xrightarrow{gr}$  – обозначение операции индуцирования в форме граничного объединения.

Такое определение функций принадлежности вышеперечисленных нечетких множеств

повышает степень полноты и достоверности оценки подготовки обучаемого благодаря учету всех факторов, влияющих на ответ учащегося, и, что самое важное, степени их влияния [16].

Построение персональных знаний необходимо для определения степени изучения предметных знаний и нахождения в соответствии с установленной степенью достижения целей подмножества тем  $T'' \subseteq T$ , которые необходимо изучить обучаемому для получения целостного образа знаний по предметной области:

$$T'' = \begin{cases} N, N \neq 0, \\ D \cup \overline{T'}, N \neq 0 \end{cases}$$

где  $N = \text{supp}(\tilde{N} \setminus \tilde{T}), D = \text{supp}(\tilde{D} \setminus \tilde{T})$ .

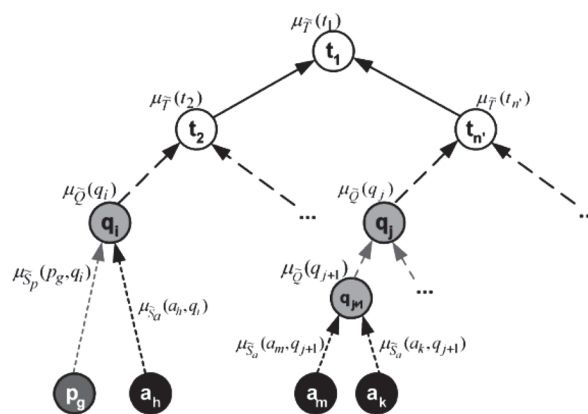


Рис. 2. Математическая модель персональных знаний [16]

Результатом установления состава множества  $T^*$  является адаптация системы навигации процесса обучения. Необходимость индивидуализированного подхода к обучению требует также и адаптации содержания учебного курса [16].

Такое модельное представление позволяет, в отличие от известных способов, учесть семантическую неопределенность оценивания экспертом (преподавателем) степени подготовки обучаемого и адаптировать систему навигации электронного учебного курса адекватно качественной и лингвистически неточной характеристике уровня знаний обучаемого. Применение теории нечетких множеств и отношений при формировании персональных знаний позволяет значительно повысить степень полноты и достоверности оценки степени подготовки учащегося благодаря учету различных факторов, влияющих на ответ учащегося при компьютерном контроле знаний, и, что самое важное, степени их влияния [8].

Закключение. Знания не имеют четкой границы, вследствие чего оценивать их четко до-

статочно сложно. В ЭВМ знания могут быть представлены только как система данных с интерпретатором. Поэтому необходима модель, которая бы позволила четко представить нечеткие величины (знания) в обучающих системах и свести погрешности в факте освоения знаний к минимуму. Результаты исследований показали, что для этого подходит математическая модель на основе теории нечетких множеств. Построение модели предметных знаний и модели текущих знаний студента на основе нечеткого ориентированного графа позволит определять в автоматическом режиме уровень усвоения того или иного методического материала. Использование оверлейного наложения одной модели на другую, а также применение операций произведения и свертки над характеристическими функциями нечеткого множества позволит адаптировать маршрут обучения к каждому студенту индивидуально. В настоящее время ведется разработка обучающей системы, в которой знания будут представлены математической моделью на основе теории нечетких множеств.

### Литература

1. Бураковский А. И., Попова Ю. Б. Математические модели пользователей в адаптивных обучающих системах: Информационные технологии в образовании, науке и производстве: Материалы МНТИК. Режим доступа: [http://www.bntu.by/news/67-conference-mido/1545-2014-11-22-12-18-35.html].
2. Брусиловский, П. Л. Адаптивные и интеллектуальные технологии в сетевом обучении / П. Л. Брусиловский // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 5. – С. 25–31.
3. Брусиловский, П. Л. Интеллектуальные обучающие системы / П. Л. Брусиловский // Информатика. Информационные технологии. Средства и системы. – 1990. – № 2. – С. 3–22.
4. Савельев, А. Я. Автоматизированная обучающая система КОНТАКТ на базе ЕС ЭВМ: версия КОНТАКТ/ОС. Вып. 2 / Под ред. Ницецкого Л. В. – Рига: РПИ, 1979. — 67 с.
5. Garret, B. The value of intelligent multimedia simulation for teaching clinical decision-making skills. / B. Garret, D. Callear // Nurse Educ Today. – 2001. – № 21. – Р. 382–390.
6. Спицын, В. Г. Представление знаний в информационных системах: учебное пособие. / В. Г. Спицын, Ю. Р. Цой. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – С. 8.
7. Полани, М. Личностное знание / М. Полани. – М.: Прогресс, 1985. – 103 с.
8. Попов, Э. В. Искусственный интеллект: Кн. 1. Системы общения и экспертные системы. / Справочник под ред. Э. В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
9. Клыков, М. С. Основы управления: учебное пособие / М. С. Клыков, Н. П. Григорьев, Т. И. Балалаева. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2007 – С. 2.
10. Берштейн, Л. С. Функционально-структурное исследование ситуационно-фреймовой сети эксплуатационной системы с нечеткой логикой / Л. С. Берштейн [и др.] // Изв. АН. Сер. Техническая кибернетика. – 1994. – № 2. – С. 120–124.
11. Головчинер, М. Н. Введение в системы знаний. Курс лекций / М. Н. Головчинер. – Томск, 2011. – С. 20.
12. Коробова, И. Л. Методы представления знаний / И. Л. Коробова. – Тамбов, Издательство ТГТУ, 2003. – С. 10–13.
13. Борисов, А. Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. / А. Н. Борисов [и др.]. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
14. Карелин, В. П. Модели и методы представления знаний и выработки решений в интеллектуальных информационных системах с нечеткой логикой / В. П. Карелин // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2014. – № 1(19) – С. 75–83.
15. Белоус, В. А. Современные модели представления знаний в обучающих системах / В. А. Белоус, Е. С. Кудinov, М. Э. Желнин. // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2010. – № 1. – С. 9–14.

16. Денисова, И. Ю. Математические модели представления знаний эксперта в информационной обучающей системе дистанционного обучения / И. Ю. Денисова, М. В. Баканова // Известия Пензенского государственного педагогического университета. ПГУ. – 2011. – С. 360–361.

### References

1. Burakovskij A. I., Popova Y. B. Mathematical models of users in adaptive learning systems: Informacionnye tehnologii v obrazovanii, nauke i proizvodstve: Materialy MNTIK. Rezhim dostupa: [http://www.bntu.by/news/67-conference-mido/1545–2014–11–22–12–18–35.html].
2. Brusilovskij, P. L. Adaptive and intelligent technologies in network learning / P. L. Brusilovskij // Novosti iskusstvennogo intellekta. – 2002. – № 5. – P. 25–31.
3. Brusilovskij, P. L. Intelligent tutoring systems / P. L. Brusilovskij // Informatika. Informacionnye tehnologii. Sredstva i sistemy. – 1990. – № 2. – P. 3–22.
4. Savel'ev, A. Ja. Automated Training System CONTACT based on ES computers: version KONTAKT/OS. Vyp.2/ Pod red. Niceckogo L. V. – Riga: RPI, 1979. – 67 p.
5. Garret, B. The value of intelligent multimedia simulation for teaching clinical decision-making skills / B. Garret, D. Callear // Nurse Educ Today. – 2001. – № 21. – P. 382–390.
6. Spicyn, V. G. Knowledge representation in information systems. / V. G. Spicyn, Ju. R. Coj. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2008 – P. 8.
7. Polani, M. Personal knowledge / M. Polani // M.: Progress, 1985. – 103 p.
8. Popov, Je. V. Iskusstvennyj intellekt: Kn. 1. The communication systems and expert systems. / Spravochnik pod red. Je. V. Popova. – M.: Radio i svjaz', 1990. – 464 p.
9. Klykov, M. S. Fundamentals of Management: uchebnoe posobie / M. S. Klykov, N. P. Grigor'ev, T. I. Balalaeva. – Habarovsk: Izdatel'stvo DVGUPS, 2007. – P. 2.
10. Bershtejn, L. S. Functional-structural research of situational framing network operating system with fuzzy logic / L. S. Bershtejn [i dr.] // Izv. AN. Ser. Tehnicheskaja kibernetika. – 1994. – № 2. – P. 120–124.
11. Golovchiner, M. N. Introduction to knowledge system. Kurs lekcij / M. N. Golovchiner. – Tomsk, 2011. – P. 20.
12. Korobova, I. L. Methods of knowledge representation / I. L. Korobova. – Tambov, Izdatel'stvo TGTU, 2003. – P. 10–13.
13. Borisov, A. N. Processing fuzzy information in decision-making systems / A. N. Borisov [i dr.] – M.: Radio i svjaz', 1989. – P. 304.
14. Karelin, V. P. Models and methods of knowledge representation and decision-making in intelligent information systems with fuzzy logic / V. P. Karelin // Vestnik Taganrogskogo instituta upravlenija i jekonomiki. – 2014. – № 1(19). – P. 75–83.
15. Belous, V. A. Modern knowledge representation models in training systems / V. A. Belous, E. S. Kudinov, M. Je. Zhelnin // Uchenye zapiski. Jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2010. – № 1. – P. 9–14.
16. Denisova, I. Ju. Mathematical models of expert knowledge representation in e-learning system / I. Ju. Denisova, M. V. Bakanova // Izvestija Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. PGU. – 2011. – P. 360–361.

Поступила  
10.05.2016

После доработки  
15.05.2016

Принята к печати  
20.05.2016

Y. B. Popova, A. I. Burakovski

## REPRESENTATION OF KNOWLEDGE IN LEARNING SYSTEMS BASED ON THE THEORY OF FUZZY SETS

Belarusian National Technical University

*Using of information technologies and e-learning systems increases opportunities of teachers and learners in reaching their studying process goals. It takes into account the individual characteristics of each and provides opportunities for e-learning. But e-learning systems using is limited despite of many researchers and the obvious advantages of such systems. One of the main reasons of such limitation is the usage of precise quantitative techniques in a hard-structured and fuzzy area as a learning process. In designing of information learning systems developers are faced with the problem of modeling knowledge which can be divided into two categories conventionally: personal and subject. Subject knowledge is defined education program and represents expert knowledge (the teacher) about the composition and structure of the subject. Personal knowledge can determine the level of the material studied by learner. This kind of knowledge is dynamic, changing in the educational process and designed to adapt e-learning systems to the particular learner. There are a large number of knowledge representation models. Commonly used models are logical, productional, network, frame-based and mathematical models. The main advantage of the mathematical model is the accuracy, abstraction processing, communication logically uniform way. Mathematical model of knowledge representation based on the theory of fuzzy sets take into consideration the semantic ambiguity expert assessment (teacher) degree of preparation to learner.*

**Keywords:** knowledge, e-learning, mathematical model, fuzzy sets.



**Yuliya B. Popova**, PhD, Associate Professor at the Software Department of the Belarusian National Technical University. Her research interests include methods and algorithms of optimization in technical systems, engineering of adaptive learning systems and learning management systems (LMS), modeling of student knowledge, software testing and quality assurance.

E-mail: [julia\\_popova@mail.ru](mailto:julia_popova@mail.ru)



**Alexander Burakovski** received the graduate degree in software engineering from the Belarusian National Technical University in 2012 and the Master's degree in system analysis and control of information processing in 2013. He is currently working on PhD degree program. His current research interests include modeling of student knowledge based on fuzzy sets and fuzzy logic.

Работа выполняется в рамках научно-исследовательской работы ГБ 11–254 «Математическое и программное обеспечение систем обработки информации в образовании и автоматизированных систем управления техническими объектами».